

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月10日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-201059

[ST.10/C]:

[JP 2002-201059]

出 願 人

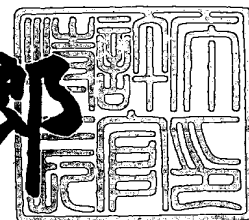
Applicant(s):

日本電信電話株式会社

2003年 6月12日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3045937

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH136962

【提出日】 平成14年 7月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/015

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 瀧口 浩一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 鈴木 扇太

【特許出願人】

 【識別番号】 000004226

 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100078499

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 光石 俊郎

 【電話番号】 03-3583-7058

【選任した代理人】

 【識別番号】 100074480

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 光石 忠敬

 【電話番号】 03-3583-7058

【選任した代理人】

 【識別番号】 100102945

 【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 康幸

【電話番号】 03-3583-7058

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020318

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 本の光導波路と、前記 2 本の光導波路を I 箇所 (I は 2 以上の整数) の異なる位置で近接させる I 個の方向性結合器とを有し、前記方向性結合器に挟まれた ($I - 1$) 箇所における 2 本の光導波路のうち少なくとも一方の光導波路に、光信号の位相を制御する位相制御手段が配設されることで、縦列に接続される ($I - 1$) 組の干渉計が構成される多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、

前記 ($I - 1$) 組の干渉計のうち、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有する干渉計の最小の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、前記 ($I - 1$) 組の干渉計のうち、同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有する干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第 1 の手順と、

波長可変コヒーレント光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、前記 ($I - 1$) 組の干渉計のうち、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有する干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第 2 の手順と、

所望の光出力特性の位相シフト量になるように、前記第 1 手順と前記第 2 の手順により測定した各々の前記干渉計の前記位相制御手段の駆動量を用いて、各々の前記干渉計の前記位相制御手段に適切な駆動量を設定する第 3 の手順とを有することを特徴とする多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法。

【請求項 2】 2 本の光導波路と、前記 2 本の光導波路を $2(N + 1)$ 箇所 (N は自然数) の異なる位置で近接させる $2(N + 1)$ 個の方向性結合器とを有し、前記 $2(N + 1)$ 個の方向性結合器に挟まれた ($2N + 1$) 箇所の 2 本の光導波路が、同一の光路長に設定された ($N + 1$) 組の 2 本の光導波路と、異な

る光路長に設定された N 組の2本の光導波路とで交互に構成され、それらの最両端に同一の光路長に設定された2組の2本の光導波路が配設され、前記方向性結合器に挟まれた $2(N+1)$ 箇所における2本の光導波路のうち少なくとも一方の光導波路に、光信号の位相を制御する位相制御手段が配設されることで、同一の光路長に設定された2本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する $(N+1)$ 組の対称マッハツェンダ型干渉計と、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する N 組の非対称マッハツェンダ型干渉計とが交互に縦列に接続され、それらの最両端が前記対称マッハツェンダ型干渉計となる多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、

N 組の前記非対称マッハツェンダ型干渉計の最少の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、 $(N+1)$ 組の前記対称マッハツェンダ型干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第1の手順と、

波長可変コヒーレント光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、 N 組の前記非対称マッハツェンダ型干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第2の手順と、

所望の光出力特性の位相シフト量になるように、前記第1手順と前記第2の手順により測定した各々の前記干渉計の前記位相制御手段の駆動量を用いて、各々の前記干渉計の前記位相制御手段に適切な駆動量を設定する第3の手順とを有することを特徴とする多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法。

【請求項3】 請求項1又は請求項2記載の多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、

前記第1の手順は、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を用いて、同一の光路長に設定された2本の光導波路を有する任意の前記干渉計の強度結合率が0%又は100%となるときの、前記2本の

光導波路の少なくとも一方に配設された前記位相制御手段の駆動量を各々順次測定するものとし、

前記第 2 の手順は、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有する任意の前記干渉計の直近の、同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有する 2 組の前記干渉計の強度結合率が 5 0 % になるように、前記第 1 の手順を用いて測定した前記駆動量を用いて当該位相制御手段に設定し、上記 2 組以外の同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有する前記干渉計の強度結合率が 0 % 又は 1 0 0 % になるように、前記第 1 の手順を用いて測定した前記駆動量を用いて当該位相制御手段に設定し、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を用いて、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有する前記任意の干渉計の強度結合率が 0 % 又は 1 0 0 % となるときの、前記 2 本の光導波路の少なくとも一方に配設された前記位相制御手段の駆動量を各々順次測定することを特徴とする多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法。

【請求項 4】 請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、

前記第 1 の手順及び前記第 2 の手順における、各々の前記位相制御手段の駆動量と光出力の強度を測定する順序を、出力側に近い前記位相制御手段から入力側の前記位相制御手段へ順次行なうことを特徴とする多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法。

【請求項 5】 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、

2 つの入力部と 2 つの出力部を有し、2 つの入力部のいずれか 1 つを 1 つの出力部へ切り替える光路切り替え装置を用い、前記光路切り替え装置の 2 つの入力部に、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有する前記干渉計の最少の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源と、波長可変コヒーレント光源とを接続し、前記光路切り替え装置の 2 つの出力部を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力部の 2 本の光導波路に接続することを特徴とする多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

大量の情報を伝送する手段として、光領域での波長多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）通信システムが広く用いられている。このWDM通信システムにおいて、対称マッハツェンダ型干渉計若しくは非対称マッハツェンダ型干渉計のいずれか一方を、又は、両方を縦列接続した多段マッハツェンダ型光回路は、特性可変の波長フィルタ、分散補償器、利得等化器などを実現可能なデバイスとして用いられている。

【 0 0 0 3 】

上記多段マッハツェンダ型光回路において、所望の特性を実現するためには、各干渉計の光路長差を光信号の波長以下のオーダーで正確に設定する必要がある。しかしながら、作製プロセスの誤差などにより、光路長差の設計値からのずれ（位相誤差）がたびたび生じる。この位相誤差を補償する手段として、各干渉計上に屈折率を制御する位相制御手段を設け、位相制御手段により屈折率を制御することによって、干渉計での光信号の位相制御が行われる。そのため、各干渉計上の位相特性を測定した上で、位相制御手段を制御する必要がある。この多段マッハツェンダ型光回路における特性の調整方法を、図5、図6を用いて説明する。

【 0 0 0 4 】

図5は、多段マッハツェンダ型光回路の特性の従来の調整方法を説明する図面である。

図6は、対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御手段の位相に対する光出力の強度特性のグラフである。

【 0 0 0 5 】

図5は、多段マッハツェンダ型光回路の最もよく用いられる例であり、対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計が交互に縦列接続された構成を示すものである。

【0006】

図5に示すように、多段マッハツェンダ型光回路において、対称マッハツェンダ型干渉計は、前方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 21_1 と、後方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 21_2 と、方向性結合器 21_1 と方向性結合器 21_2 とにより挟まれ、同一の光路長に設定された2つの光導波路と、方向性結合器 21_1 と方向性結合器 21_2 とにより挟まれた2つの光導波路の一方に配設された光信号の位相を制御する位相制御手段 22_1 とからなり、非対称マッハツェンダ型干渉計は、前方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 21_2 と、後方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 21_3 と、方向性結合器 21_2 と方向性結合器 21_3 とにより挟まれ、異なる光路長に設定された2つの光導波路と、方向性結合器 21_2 と方向性結合器 21_3 とにより挟まれた2つの光導波路の一方に配設された光信号の位相を制御する位相制御手段 22_2 とからなり、多段マッハツェンダ型光回路は、上記構成の対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計が、隣り合う方向性結合器 21_2 を共有しつつ、交互に縦列接続されて構成される。又、多段マッハツェンダ型光回路の最前方には、入力部分となる光導波路 24_1 、 24_2 が配設される。

【0007】

上記多段マッハツェンダ型光回路では、上記構成の対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計が、交互に縦列接続されて、多段に構成されるため、図5において、方向性結合器を符号 $21_1 \sim 21_M$ で示し、位相制御手段を $22_1 \sim 22_L$ で示した。又、モニタ用ポートを $23_1 \sim 23_4$ で示し、被測定干渉計を 25 、モニタ用ポートが付加された干渉計部を 26 で示した。なお、方向性結合器 $21_1 \sim 21_M$ は1つの線で表しているが、実際には、方向性結合器 $21_1 \sim 21_M$ は、2つの光導波路が、適切な間隔を有して平行に近接されて設けられるものである。

【0008】

上記構成の多段マッハツェンダ型光回路において、光回路の特性を調整する従来の方法として、測定対象となる被測定干渉計の前後段にモニタ用ポートを近接

して設ける構成を用いる（図 5 のモニタ用ポートが付加された干渉計部 2 6 参照）。例えば、被測定干渉計 2 5 の特性の調整を行う場合、被測定干渉計 2 5 の前段に設けたモニタ用ポート $2 3_1$ 又は $2 3_2$ から光信号を入射し、被測定干渉計 2 5 の位相制御手段 $2 2_{J-1}$ によって光導波路の位相を変化させ、被測定干渉計 2 5 の後段に設けたモニタ用ポート $2 3_3$ 又は $2 3_4$ からの出力光の強度変化を測定する。なお、各々のモニタ用ポート $2 3_1 \sim 2 3_4$ は、方向性結合器 $2 1_{K-5}$ 、 $2 1_{K-4}$ 、 $2 1_{K+1}$ 、 $2 1_{K+2}$ により、被測定干渉計 2 5 の前後段に接続される。又、被測定干渉計 2 5 内に示す方向性結合器 $2 1_{K-2}$ 、 $2 1_{K-1}$ は、後段側の他の被測定干渉計に対して、他のモニタ用ポートを接続するためのものである。

【 0 0 0 9 】

被測定干渉計 2 5 のために設けられたモニタ用ポート $2 3_1$ 、 $2 3_3$ 間では、同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有するため、対称マッハツェンダ型干渉計が構成されるので、位相制御手段 $2 2_{J-1}$ での位相変化 ϕ に対して、図 6 のグラフに示すような、出力光の強度変化が生じる。この強度変化を測定することによって、被測定干渉計 2 5 の位相制御手段 $2 2_{J-1}$ の駆動量を把握し、位相制御手段 $2 2_{J-1}$ に適切な駆動量を設定することで、光信号の位相を所望の特性にすることができる。なお、図 6 の位相－出力光強度のグラフは、方向性結合器 $2 1_{K-3}$ 、 $2 1_K$ の結合率を 5 0 %（3 d B 方向性結合器）とし、最大強度で強度の規格化をして計算したものである。

【 0 0 1 0 】

図 5 では、モニタ用ポートを用いる部分と用いない部分との違いを明確にするため、干渉計部 2 6 のみにモニタ用ポート $2 3_1 \sim 2 3_4$ を設置した構成を示した。しかし、実際には、マッハツェンダ型光回路の入出力部となる両端の干渉計を除く（マッハツェンダ型光回路の入出力部となる両端の干渉計は、入力用ポート又は出力用ポートとなる光導波路をモニタ用ポートとして使用できるため、改めてモニタ用ポートを設ける必要はない。）すべての干渉計の前後段にモニタ用ポートを設置し、他の干渉計も同様の手順を用いて、位相特性の測定及び設定を行う。

【 0 0 1 1 】

【発明が解決しようとする課題】

上記多段マッハツェンダ型光回路では、その特性の従来の調整方法として、各干渉計の前後段にモニタポートを近接して設ける構成を用いているため、(1) モニタポートの設置により素子規模が大きくなり、(2) モニタポートへの漏れ光が生じデバイス損失が増加するという問題が生じる。

【0012】

本発明は、上記課題に鑑みなされたもので、モニタ用ポートを設けることなく、多段マッハツェンダ型光回路の特性の正確かつ簡便な調整方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決する本発明の請求項1に係る多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法は、2本の光導波路と、前記2本の光導波路をI箇所(Iは2以上の整数)の異なる位置で近接させるI個の方向性結合器とを有し、前記方向性結合器に挟まれた(I-1)箇所における2本の光導波路のうち少なくとも一方の光導波路に、光信号の位相を制御する位相制御手段が配設されることで、縦列に接続される(I-1)組の干渉計が構成される多段マッハツェンダ型光回路において、前記(I-1)組の干渉計のうち、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有する干渉計の最小の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、前記(I-1)組の干渉計のうち、同一の光路長に設定された2本の光導波路を有する干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第1の手順と、波長可変コヒーレント光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、前記(I-1)組の干渉計のうち、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有する干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第2の手順と、所望の光出力特性の位相シフト量になるように、前記第1手順と前記第2の手順により測定した

各々の前記干渉計の前記位相制御手段の駆動量を用いて、各々の前記干渉計の前記位相制御手段に適切な駆動量を設定する第 3 の手順とを有することを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

上記課題を解決する本発明の請求項 2 に係る多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法は、2 本の光導波路と、前記 2 本の光導波路を $2(N+1)$ 箇所 (N は自然数) の異なる位置で近接させる $2(N+1)$ 個の方向性結合器とを有し、前記 $2(N+1)$ 個の方向性結合器に挟まれた $(2N+1)$ 箇所の 2 本の光導波路が、同一の光路長に設定された $(N+1)$ 組の 2 本の光導波路と、異なる光路長に設定された N 組の 2 本の光導波路とで交互に構成され、それらの最両端に同一の光路長に設定された 2 組の 2 本の光導波路が配設され、前記方向性結合器に挟まれた $2(N+1)$ 箇所における 2 本の光導波路のうち少なくとも一方の光導波路に、光信号の位相を制御する位相制御手段が配設されることで、同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する $(N+1)$ 組の対称マッハツェンダ型干渉計と、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する N 組の非対称マッハツェンダ型干渉計とが交互に縦列に接続され、それらの最両端が前記対称マッハツェンダ型干渉計となる多段マッハツェンダ型光回路において、 N 組の前記非対称マッハツェンダ型干渉計の最少の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、 $(N+1)$ 組の前記対称マッハツェンダ型干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第 1 の手順と、波長可変コヒーレント光源を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力側の一方の光導波路に接続し、 N 組の前記非対称マッハツェンダ型干渉計に配設された前記位相制御手段の駆動量に対して、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を各々順次測定する第 2 の手順と、所望の光出力特性の位相シフト量になるように、前記第 1 手順と前記第 2 の手順により測定した各々の前記干渉計の前記位相制御手段の駆動量を用いて

、各々の前記干渉計の前記位相制御手段に適切な駆動量を設定する第3の手順とを有することを特徴とする。

【0015】

上記課題を解決する本発明の請求項3に係る多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法は、前記第1の手順は、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を用いて、同一の光路長に設定された2本の光導波路を有する任意の前記干渉計の強度結合率が0%又は100%となるときの、前記2本の光導波路の少なくとも一方に配設された前記位相制御手段の駆動量を各々順次測定するものとし、前記第2の手順は、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有する任意の前記干渉計の直近の、同一の光路長に設定された2本の光導波路を有する2組の前記干渉計の強度結合率が50%になるように、前記第1の手順を用いて測定した前記駆動量を用いて当該位相制御手段に設定し、上記2組以外の同一の光路長に設定された2本の光導波路を有する前記干渉計の強度結合率が0%又は100%になるように、前記第1の手順を用いて測定した前記駆動量を用いて当該位相制御手段に設定し、前記多段マッハツェンダ型光回路の出力側の一方の光導波路での光出力の強度を用いて、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有する前記任意の干渉計の強度結合率が0%又は100%となるときの、2本の光導波路の少なくとも一方に配設された前記位相制御手段の駆動量を各々順次測定することを特徴とする。

【0016】

上記課題を解決する本発明の請求項4に係る多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法は、前記第1の手順及び前記第2の手順における、各々の前記位相制御手段の駆動量と光出力の強度を測定する順序を、出力側に近い前記位相制御手段から入力側の前記位相制御手段へ順次行なうことを特徴とする。

【0017】

上記課題を解決する本発明の請求項5に係る多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法は、2つの入力部と2つの出力部を有し、2つの入力部のいずれか1つを1つの出力部へ切り替える光路切り替え装置を用い、前記光路切り替え装置の2つの入力部に、異なる光路長に設定された2本の光導波路を有する前記干

渉計の最少の光路長差より短いコヒーレンス長を有する低コヒーレンス光源と、波長可変コヒーレント光源とを接続し、前記光路切り替え装置の2つの出力部を、前記多段マッハツェンダ型光回路の入力部の2本の光導波路に接続ことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

(作用)

対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計を縦列接続する多段マッハツェンダ型光回路では、非対称マッハツェンダ型干渉計の最小光路長差よりもコヒーレンス長が短い低コヒーレンス光を入射させた場合、光は対称マッハツェンダ型干渉計でのみ干渉を起こし、非対称マッハツェンダ型干渉計では干渉を起こさない。従って、最初に、多段マッハツェンダ型光回路の入力光として、非対称マッハツェンダ型干渉計の最小光路長差よりもコヒーレンス長が短い低コヒーレンス光を入射させ、各々の対称マッハツェンダ型干渉計における位相制御手段の駆動量（例えば、石英系ガラス光導波路では印可熱光学電力、半導体光導波路では印可電圧）を変えたときの、出力光の強度変化を測定することによって、各々の対称マッハツェンダ型干渉計における位相制御手段の駆動量と、実際の位相シフト量との関係を、全ての対称マッハツェンダ型干渉計について順次測定することができる。

【 0 0 1 9 】

次に、多段マッハツェンダ型光回路の入力光を、波長可変なコヒーレント光源につなぎ変えた後、測定対象となる非対称マッハツェンダ型干渉計の直近に配置された2つの対称マッハツェンダ型干渉計の強度結合率を、上記対称マッハツェンダ型干渉計での測定を基に50%に設定し、上記2つの対称マッハツェンダ型干渉計を除く他の対称マッハツェンダ型干渉計の強度結合率を0%又は100%に設定する。上記強度結合率の条件では、強度結合率を0%又は100%に設定された対称マッハツェンダ型干渉計に挟まれた非対称マッハツェンダ型干渉計は出力光に何ら影響を与えることなく、強度結合率を50%に設定された対称マッハツェンダ型干渉計に挟まれた非対称マッハツェンダ型干渉計、即ち、測定対象となる非対称マッハツェンダ型干渉計での位相変化によってのみ出力光が変化す

る。従って、測定対象となる非対称マッハツェンダ型干渉計における位相制御手段の駆動量を変えたときの、出力光の強度変化を測定することによって、測定対象となる非対称マッハツェンダ型干渉計における位相制御手段の駆動量と、実際の位相シフト量との関係を測定することができ、測定対象を順次変えていくことで、全ての非対称マッハツェンダ型干渉計について順次測定することができる。

【 0 0 2 0 】

最後に、上記測定手順により得られた各干渉計での位相制御手段の駆動量の測定結果を基に、各々の干渉計の位相制御手段に適切な駆動量を設定することで、各々の干渉計の位相制御量が、所望の光出力の位相シフト量に一致するようにし、その結果、所望の光特性が実現される。

【 0 0 2 1 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明について、図面に示す実施例を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本発明の実施形態の一例を示す多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法のフローチャートである。

又、図 2 は、多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、図 1 中の第 1 の実施手順を説明する図面であり、図 3 は、図 1 中の第 2 の実施手順を説明する図面である。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示す多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法を、図 2、図 3 に示す多段マッハツェンダ型光回路を用いて説明する。なお、図 2、図 3 は、多段マッハツェンダ型光回路の最もよく用いられる典型例であり、対称マッハツェンダ型干渉計（ $(P + 1)$ 個）と非対称マッハツェンダ型干渉計（ P 個）が交互に縦列接続され、最前段と最後段には対称マッハツェンダ型干渉計が配置され、各干渉計の 2 本の光導波路のうち一方のアーム（光導波路）上に、光信号の位相を制御する位相制御手段が設置された構成を示すものである。又、本発明は上記構成の多段マッハツェンダ型光回路に限らず、任意の数、任意の接続順序の対称マッハツェンダ型干渉計及び非対称マッハツェンダ型干渉計により構成される多段マ

マッハツェンダ型光回路にも適用可能である。

【 0 0 2 4 】

具体的には、図 2、図 3 に示すように、多段マッハツェンダ型光回路において、対称マッハツェンダ型干渉計は、前方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 1_1 と、後方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 1_2 と、方向性結合器 1_1 と方向性結合器 1_2 とにより挟まれ、同一の光路長に設定された 2 つの光導波路（アーム）と、方向性結合器 1_1 と方向性結合器 1_2 とにより挟まれた 2 つの光導波路（アーム）の一方に配設された光信号の位相の制御を行なう位相制御手段 2_1 とからなり、非対称マッハツェンダ型干渉計は、前方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 1_2 と、後方側に配置され、光信号を分岐、結合する方向性結合器 1_3 と、方向性結合器 1_2 と方向性結合器 1_3 とにより挟まれ、異なる光路長に設定された 2 つの光導波路（アーム）と、方向性結合器 1_2 と方向性結合器 1_3 とにより挟まれた 2 つの光導波路（アーム）の一方に配設された位相制御手段 2_2 とからなり、多段マッハツェンダ型光回路は、上記構成の対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計が、隣り合う方向性結合器 1_2 を共有しつつ、交互に縦列接続されて構成される。又、多段マッハツェンダ型光回路の前方には、入力部分となる光導波路 9_1 、 9_2 が配設される。

【 0 0 2 5 】

上記多段マッハツェンダ型光回路では、上記構成の対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計が、交互に縦列接続されて、多段に構成されるため、図 2、図 3 において、方向性結合器を符号 $1_1 \sim 1_{2P+2}$ で示し、位相制御手段を $2_1 \sim 2_{2P+1}$ で示した。又、ポートを $3_1 \sim 3_6$ で示し、被測定干渉計を 1_0 で示した。なお、方向性結合器 $1_1 \sim 1_{2P+2}$ は 1 つの線で表しているが、実際には、方向性結合器 $1_1 \sim 1_{2P+2}$ は、2 つの光導波路が、適切な間隔を有して平行に近接されて設けられるものである。

【 0 0 2 6 】

つまり、多段マッハツェンダ型光回路は、2 本の光導波路と、2 本の光導波路を $2P+2$ 箇所（ P は自然数）の異なる位置で近接させる $2P+2$ 個の方向性結

合器とを有し、 $2P + 2$ 個の方向性結合器に挟まれた $2P + 1$ 箇所の 2 本の光導波路が、同一の光路長に設定された $P + 1$ 組の 2 本の光導波路と、異なる光路長に設定された P 組の 2 本の光導波路とで交互に構成され、それらの最両端に同一の光路長に設定された 2 組の 2 本の光導波路が配設され、前記方向性結合器に挟まれた $2P + 1$ 箇所における 2 本の光導波路のうち少なくとも一方の光導波路に、光信号の位相を制御する位相制御手段が配設されることで、同一の光路長に設定された 2 本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する $P + 1$ 組の対称マッハツェンダ型干渉計と、異なる光路長に設定された 2 本の光導波路を有し、少なくとも一方の光導波路に前記位相制御手段を有する P 組の非対称マッハツェンダ型干渉計とが交互に縦列に接続され、それらの最両端が前記対称マッハツェンダ型干渉計となるものである。

【 0 0 2 7 】

更に、上記多段マッハツェンダ型光回路は、本発明に係る光回路の特性調整のために、可干渉性の低い光を出力する低コヒーレンス光源 5 と、波長可変コヒーレント光を出力する波長可変光源 6 と、これらの光源を接続用ポート 7_1 、 7_2 を用いて 2 つの入力部へ接続し、これらの光源の光路の切り替えを行なう光路切り替え装置 8 とを有している。多段マッハツェンダ型光回路では、低コヒーレンス光源 5、波長可変光源 6 の各々の出力を、光路切り替え装置 8 で切り替えることで、光路切り替え装置 8 の 2 つの出力部に接続された光導波路 9_1 、 9_2 のいずれか一方に、いずれかの光源の光を入力する。

【 0 0 2 8 】

上記多段マッハツェンダ型光回路では、光導波路として石英系ガラスを用いたものとし、上記構成の多段マッハツェンダ型光回路を用いて、本発明に係る特性の調整手順の説明を行う。

【 0 0 2 9 】

最初に、図 1 に示すステップ S 1 の第一の実施手順を、図 2 を用いて説明する。ここでは、光路切り替え装置 8 を用いて、低コヒーレンス光源 5 のみが多段マッハツェンダ型光回路の光導波路 9_1 に接続した状態とする。ここで、低コヒーレンス光源 5 の波長幅の条件としては、非対称マッハツェンダ型干渉計の 2 本の

光導波路の最少の光路長差より短いコヒーレンス長を有する波長幅である必要がある。低コヒーレンス光源としては、例えば、発光ダイオード（LED）、高輝度発光ダイオード（SLD）、希土類ドープ光ファイバ増幅器あるいは半導体レーザ増幅器の自然放出光（ASE光源）等を用いることができる。

【0030】

一般的に、光源のコヒーレンス長（可干渉距離：光を2つに分け、異なる光路長を伝搬させた後、再び合波したときに干渉が起きる最大の光路長差） L_C は、次式で与えられる。

$$L_C = \lambda_0^2 / \Delta\lambda$$

上式において、 λ_0 は光源の中心波長、 $\Delta\lambda$ は光源のスペクトル半値全幅である。例えば、低コヒーレンス光源としてSLDを用いた場合、 $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$ 、 $\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$ 程度であり、 L_C は約48.1 μm となる。

【0031】

又、真空中の光速を c 、光導波路の等価屈折率を n 、FSR（Free Spectrum Range）を f_{FSR} とすると、非対称マッハツェンダ型干渉計の光路長差 ΔL は、

$$\Delta L = c / (n \times f_{\text{FSR}})$$

で与えられる。通常、WDM通信用の光フィルタは、数10 GHz～数100 GHz程度のFSRで用いられるので、石英系ガラスによる光導波路の構成（ $n \sim 1.5$ ）を考えると、 ΔL は数100 μm ～数10 mm程度の値となる。

【0032】

上記式による典型値から、 $L_C \ll \Delta L$ が容易に実現できることがわかる。つまり、低コヒーレンス光のコヒーレンス長 L_C に対して、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本の光導波路（アーム）間の光路長差 ΔL が十分に長いため、非対称マッハツェンダ型干渉計では、低コヒーレンス光は、干渉を起す条件 $\Delta L \leq L_C$ の条件を満たさず、干渉を起こすことがない。しかし、対称マッハツェンダ型干渉計では、アーム間の光路長が同等になるように設計されているため、低コヒーレンス光は、干渉を起す条件 $\Delta L \leq L_C$ の条件を満たし、干渉を起こし、アーム間の位相差 ϕ に対して、図6に示すような、光出力の強度特性が得られることとなる。

【 0 0 3 3 】

通常、対称マッハツェンダ型干渉計の作製誤差による光路長差のずれは、波長の数 10 分の 1 程度であり、位相 ϕ に換算すると、 2π の数 10 分の 1 程度となる。そのため、2 つの 3 dB 方向性結合器を備えた対称マッハツェンダ型干渉計では、大部分の光はクロスポートに出射し、ごくわずかな一部の光がスルーポートに漏れる。そのため、図 2 では、 9_1 に光を入射させた場合を考えると、大部分の光は矢印で示したクロスポート側を伝搬する。

【 0 0 3 4 】

低コヒーレンス光源の上記特質を利用して、被測定対称マッハツェンダ型干渉計を 10 として、その特性の測定及び設定を行なう方法を示す。なお、図 2 において、被測定対称マッハツェンダ型干渉計 10 を、破線で囲んで示す。又、被測定干渉計 10 の入力側となる 2 つの光導波路をポート 3_1 、 3_2 とし、出力側となる 2 つの光導波路をポート 3_3 、 3_4 とし、最後段の出力側の 2 つの光導波路をポート 3_5 、 3_6 とする。

【 0 0 3 5 】

被測定干渉計 10 の入力側となるポート 3_1 、 3_2 における光は、コヒーレンス長より大きい光路長差を通過した後の光であるため、位相情報間に相関がない。従って、ポート 3_1 、 3_2 の入力光の強度比を $r : (1 - r)$ とすると（但し、 $r \gg 1 - r$ ）、ポート 3_3 、 3_4 における光強度 OUT_1 、 OUT_2 は、それぞれ以下のように表される。

$$OUT_1 = r \times (\sin(\phi_{Q-1}/2))^2 + (1 - r) \times (\cos(\phi_{Q-1}/2))^2$$

$$OUT_2 = r \times (\cos(\phi_{Q-1}/2))^2 + (1 - r) \times (\sin(\phi_{Q-1}/2))^2$$

ここで、位相 ϕ_{Q-1} は位相制御手段 2_{Q-1} での位相である。従って、通常の作製条件では起こりえない $r = 0.5$ 以外の時は、位相 ϕ_{Q-1} 変化に伴い光強度 OUT_1 、 OUT_2 が変化するため、最後段のポート 3_5 、 3_6 での出力も変化する。

【 0 0 3 6 】

最後段のポート 3_5 、 3_6 での出力変化は、それぞれ OUT_1 、 OUT_2 の出力変化に対応する。この最後段のポート 3_5 、 3_6 での出力を測定し、測定が容易な、出力が最大又は最小になる点（強度結合率が 0 % 又は 100 % となる点）の位相

制御手段の駆動量を測定する。光強度のデシベル測定が可能である市販の光パワーメータを用いた場合、出力最小点付近での出力変化は最も精度良く測定できるため、通常は出力最小点の駆動量を測定する。

【0037】

石英系ガラスの光導波路では、熱光学効果を介した電力値、半導体光導波路では電気光学効果を介した電圧値が、屈折率と比例関係にあるため、これらの量が駆動量として用いられる。出力最小の2点での駆動量 $P_{O-Q-1,min1}$ 、 $P_{O-Q-1,min2}$ ($P_{O-Q-1,min1} < P_{O-Q-1,min2}$) を測定、記録する。その後、これらの情報を用いて、ポート 3_1 あるいは 3_2 と、ポート 3_3 あるいは 3_4 との間の強度結合率を、正確に0%あるいは100%に設定する。この設定は特に行わなくても以下の測定に特に支障はないが、他の対称マッハツェンダ型干渉計の測定をより正確かつ容易にするために有効なものである。上記手順を他の対称マッハツェンダ型干渉計にも次々に適用して、各対称マッハツェンダ型干渉計の位相情報を求める。

【0038】

なお、対称マッハツェンダ型干渉計の測定順序は任意でかまわないが、最後段から最前段に向かい順次測定を行う方法が、未測定の位相誤差の影響を受けにくく、最も望ましいと考えられる。又、 $L_C > \Delta L$ となるコヒーレント光源（通常の半導体レーザなど）を用いた場合には、光は非対称マッハツェンダ型干渉計部でも干渉を起こすため、上記の測定は行なうことができない。

【0039】

次に、図1に示すステップS2の第2の実施手順を、図3を用いて説明する。図3に示すマッハツェンダ型光回路は、図2と同じものであり、実施手順の説明のため、被測定干渉計11となる任意の非対称マッハツェンダ型干渉計を、破線で囲んで示し、その前後段の干渉計12、13となる対称マッハツェンダ型干渉計を一点鎖線で示す。又、被測定干渉計11の入力側となる2つの光導波路をポート 4_1 、 4_2 とし、出力側となる2つの光導波路をポート 4_3 、 4_4 とし、最後段の出力側の2つの光導波路をポート 4_5 、 4_6 とする。

【0040】

ここでは、光路切り替え装置8を用いて、波長可変光源6のみが多段マッハツ

エンダ型光回路の光導波路 9₁ に接続した状態とする。波長可変光源 6 は、 $L_C > \Delta L$ を満たし、波長は光回路の動作中心周波数に設定する。

【 0 0 4 1 】

ここでは、非測定干渉部 1 1 である非対称マッハツエンダ型干渉計の特性の測定及び設定を行なう。具体的には、よく用いられる例として、位相制御手段 2_U での位相 ϕ_U を、簡単のため 2π の整数倍にする位相駆動量を求めることを目的とする。

【 0 0 4 2 】

前記第 1 の手順を用いて測定した対称マッハツエンダ型干渉計の駆動量情報を基に、図 3 における 2 つの対称マッハツエンダ型干渉計の干渉計 1 2、1 3 の強度結合率を 5 0 % に設定する。その際の対称マッハツエンダ型干渉計アーム上の必要駆動量 PO_r は、一例として、干渉計 1 2 の場合、

$$PO_r = PO_{U-1, \min 1} + (PO_{U-1, \min 2} - PO_{U-1, \min 1}) / 4$$

と求められる。

【 0 0 4 3 】

図 4 は、各強度結合率における対称マッハツエンダ型干渉計の強度特性を示すグラフである。

【 0 0 4 4 】

具体的には、図 4 に示す対称マッハツエンダ型干渉計の干渉計 1 2、1 3 の強度結合率をパラメータとした場合の、位相制御手段 2_U の位相変化 ϕ_U に対するポート 4₁、4₃ 間の強度特性を示す。対称マッハツエンダ型干渉計の干渉計 1 2、1 3 の各特性は、結合率 5 0 % の場合、最大強度になるように規格化を行っている。対称マッハツエンダ型干渉計の結合率は 0 %、1 0 0 % 以外であれば任意の値でよいが、図 4 に示すように、結合率 5 0 % とした場合に、光出力強度の最大値、最小値間の強度差が大きく取れ、測定が最も容易かつ正確になるため、最も望ましい。

【 0 0 4 5 】

なお、図 3 において、被測定干渉計 1 1 の直近の 2 つ干渉計 1 2、1 3 以外の対称マッハツエンダ型干渉計の強度透過率は、前記手順 1 の測定情報を用いて、

0%あるいは100%に設定する。これは本手順で使用している波長可変光が、コヒーレント光であり、被測定干渉計11以外の非対称マッハツェンダ型干渉計で干渉し、被測定干渉計11の測定を妨害することを、できるだけ避けるためである。従って、対称マッハツェンダ型干渉計の透過率を、クロスポートに対し100%に設定すると、位相 ϕ_U が 2π の整数倍の場合を例として考えると、光は矢印に示すように伝搬し、被測定干渉計11以外の非対称マッハツェンダ型干渉計で干渉することなく伝搬することとなる。

【0046】

各干渉計において上記設定を行ない、被測定干渉計11からの出力光を、最後段のポート4₅で測定し、出力光強度が最小又は最大となる（強度結合率が0%又は100%となる）位相制御手段2_Uでの駆動量 $PO_{U,min}$ を測定し、記録する。上記手順を他の非対称マッハツェンダ型干渉計に次々に適用して、非対称マッハツェンダ型干渉計の各位相制御手段の駆動量を測定、記録する。

【0047】

なお非対称マッハツェンダ型干渉計の測定順序は任意でかまわないが、最後段から最前段に向かい順次測定を行う方法が、未測定の位相誤差の影響を受けにくく、最も望ましい。

【0048】

最後に、図1のステップS3の第3の手順を実施する。所望の光出力特性を得るために、光フィルタ、分散補償器、利得等化器などの用途、特性に応じた各対称マッハツェンダ型干渉計での必要位相シフト量 η_V を計算によって求める。この位相シフト量 η_V と、第1の手段で測定した駆動量の情報から、対称マッハツェンダ型干渉計で実際に設定する駆動量 $PO_{V,r}$ は以下の式で表される。

$$PO_{V,r} = PO_{V,min1} + (PO_{V,min2} - PO_{V,min1}) \times \eta_V / (2 \times \pi)$$

ここで、 $PO_{V,min1}$ 、 $PO_{V,min2}$ は、第1の実施手順で求めた駆動量である。 $PO_{V,r}$ で各対称マッハツェンダ型干渉計の位相設定を行い、第2の手順で求めた $PO_{W,min}$ で各非対称マッハツェンダ型干渉計の位相設定を行うことにより、所望の特性が得られる。

【0049】

なお、第 1、第 2 の手順の位相測定の際に、必要に応じて、光導波路の位相変調を行い、ロックインアンプなどを用いて同期検波を行うことにより、設定の精度を上げることでもある。

【0050】

又、本実施例では、位相制御手段として、屈折率が熱光学電力に比例する石英系ガラス光導波路を用いて説明したが、石英系ガラス光導波路、光ファイバなどのガラス光導波路に限らず、誘電体光導波路、半導体光導波路等にも、電気光学効果を用いた場合には屈折率変化が電界に比例するという関係にさえ留意すれば、本手順を適用できる。又、いくつかの種類の光導波路を組み合わせたハイブリッド構成においても、各光導波路部に適切な位相変化を起こす効果を別々に用いれば、本手順を適用できる。

【0051】

【発明の効果】

本発明によれば、多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法において、低コヒーレンス光を用いることで、非対称マッハツェンダ型干渉計の影響を受けることなく、各々の対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を求めることができ、これらの位相制御条件により対称マッハツェンダ型光回路を制御することで、各々の非対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を求めることができ、求めた対称マッハツェンダ型干渉計及び非対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を用いて、全ての干渉計において、適切な位相シフト量を設定できるので、モニタ回路を設ける必要がなくなり、素子自体のサイズの増加、光信号の損失の増加等の性能劣化を防ぐことができる。又、簡便な素子構成及び計算によって、位相シフト量を正確に設定できるため、製造誤差を簡単に調整でき、更に、複雑な多段マッハツェンダ型光回路の精密な位相設定をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態の一例を示す多段マッハツェンダ型光回路の特性の調整方法のフローチャートである。

【図 2】

図 1 の第 1 の実施手順を説明する図面である。

【図 3】

図 1 の第 2 の実施手順を説明する図面である。

【図 4】

強度結合率による対称マッハツェンダ型干渉計の強度特性を示すグラフである。

【図 5】

多段マッハツェンダ型光回路の特性の従来の調整方法を説明する図面である。

【図 6】

対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御手段の位相に対する光出力の強度特性のグラフである。

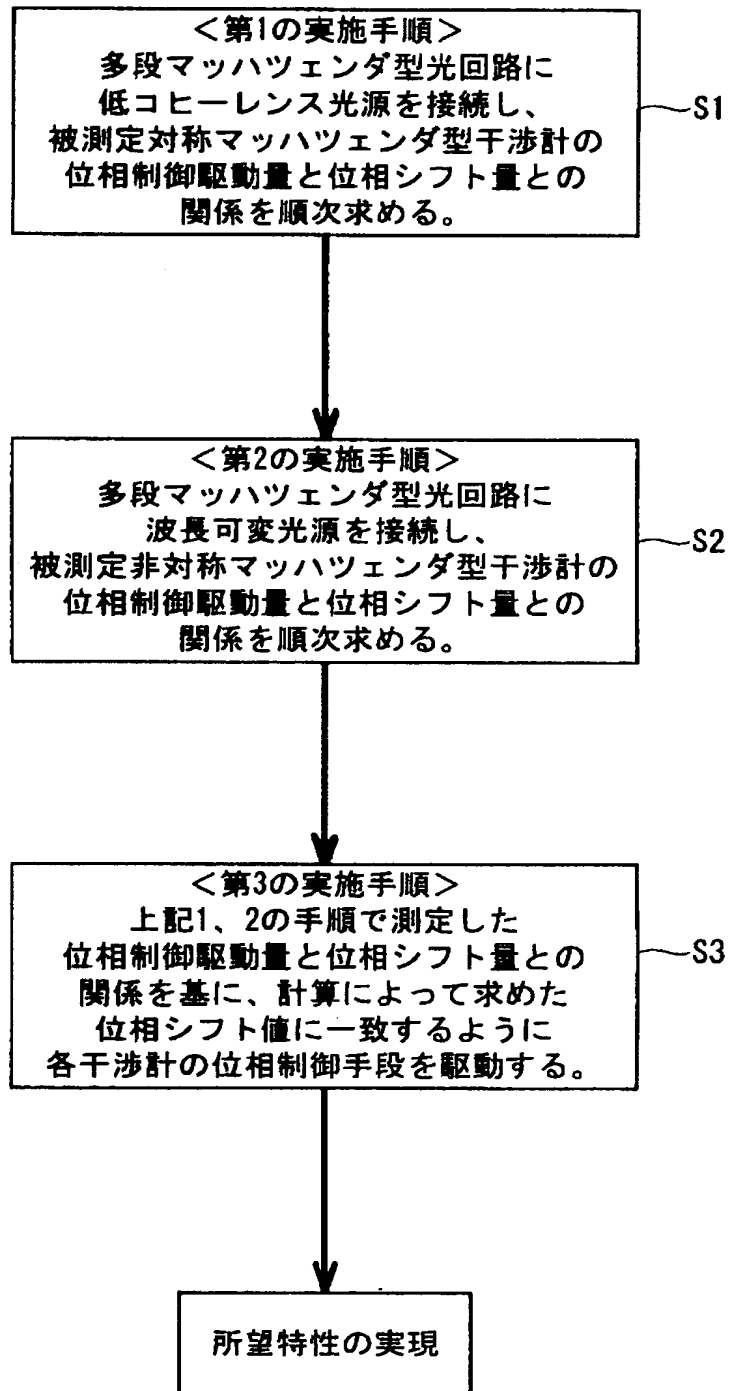
【符号の説明】

- 1₁ ~ 1_{2P+2} 3 d B 方向性結合器
- 2₁ ~ 2_{2P+1} 光導波路の位相制御手段
- 3₁ ~ 3₆ ポート
- 4₁ ~ 4₆ ポート
- 5 低コヒーレンス光源
- 6 波長可変光源
- 7₁、7₂ 接続用ポート
- 8 光路切り替え装置
- 9₁、9₂ 光導波路
- 10 被測定干渉計（対称マッハツェンダ型干渉計）
- 11 被測定干渉計（非対称マッハツェンダ型干渉計）
- 12 干渉計（対称マッハツェンダ型干渉計）
- 13 干渉計（対称マッハツェンダ型干渉計）

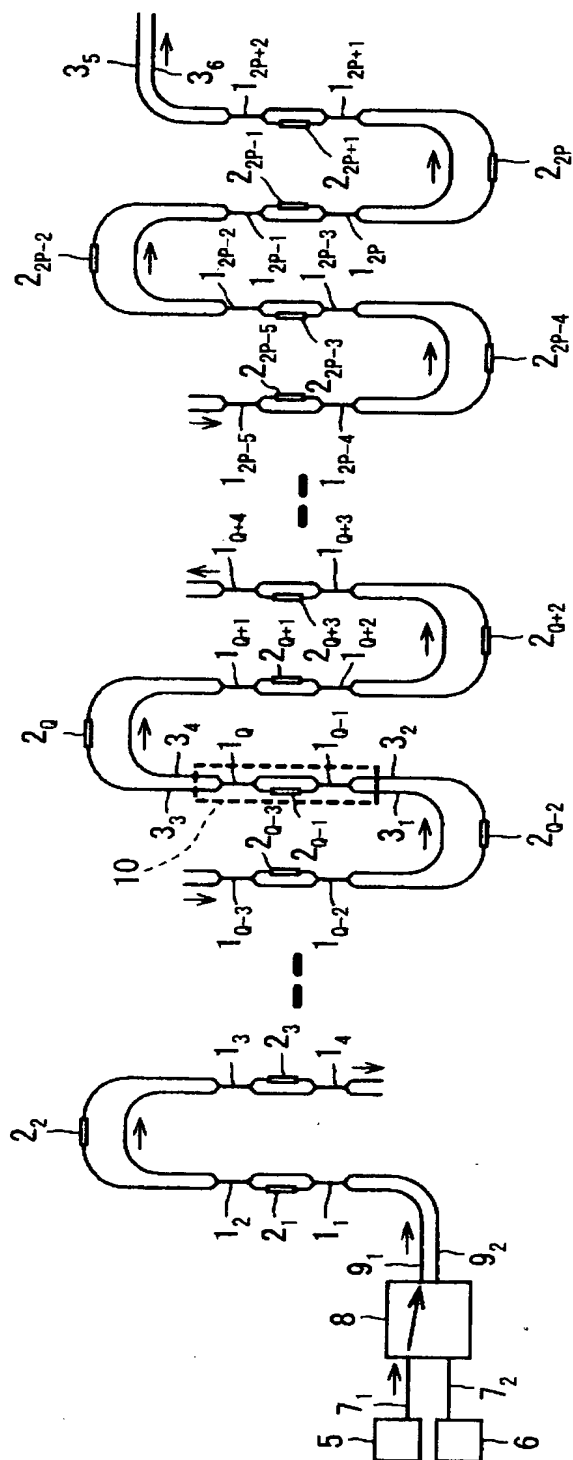
【書類名】

図面

【図 1】

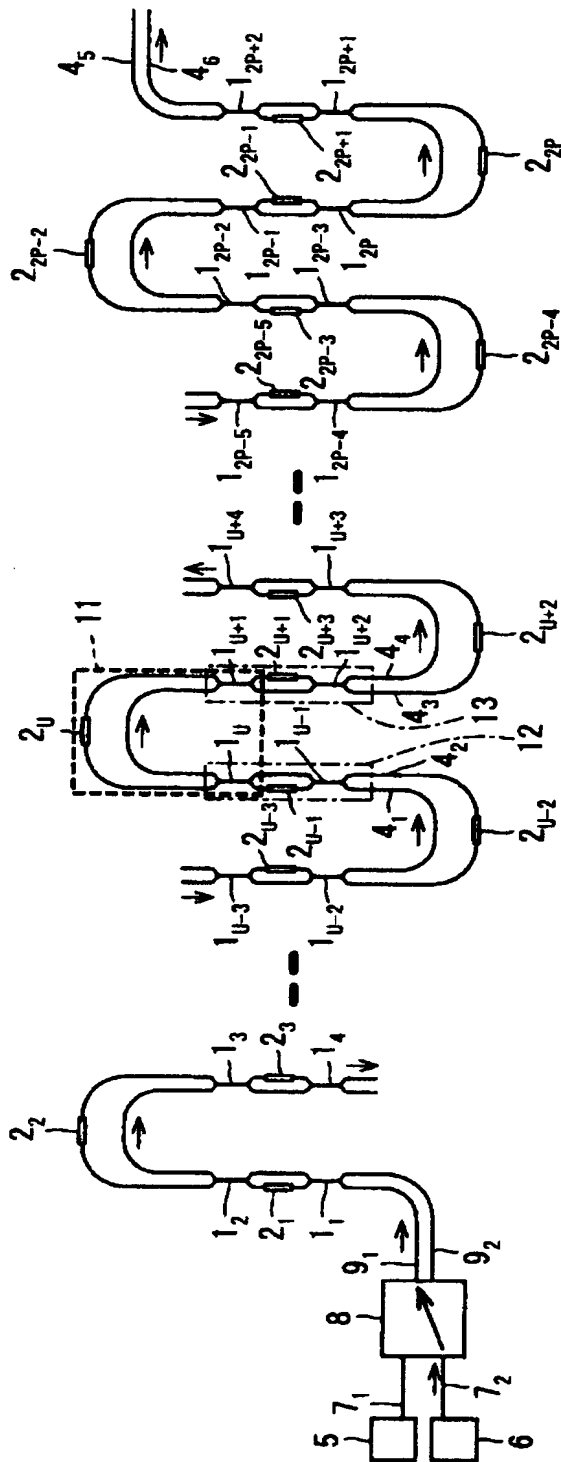


【図 2】



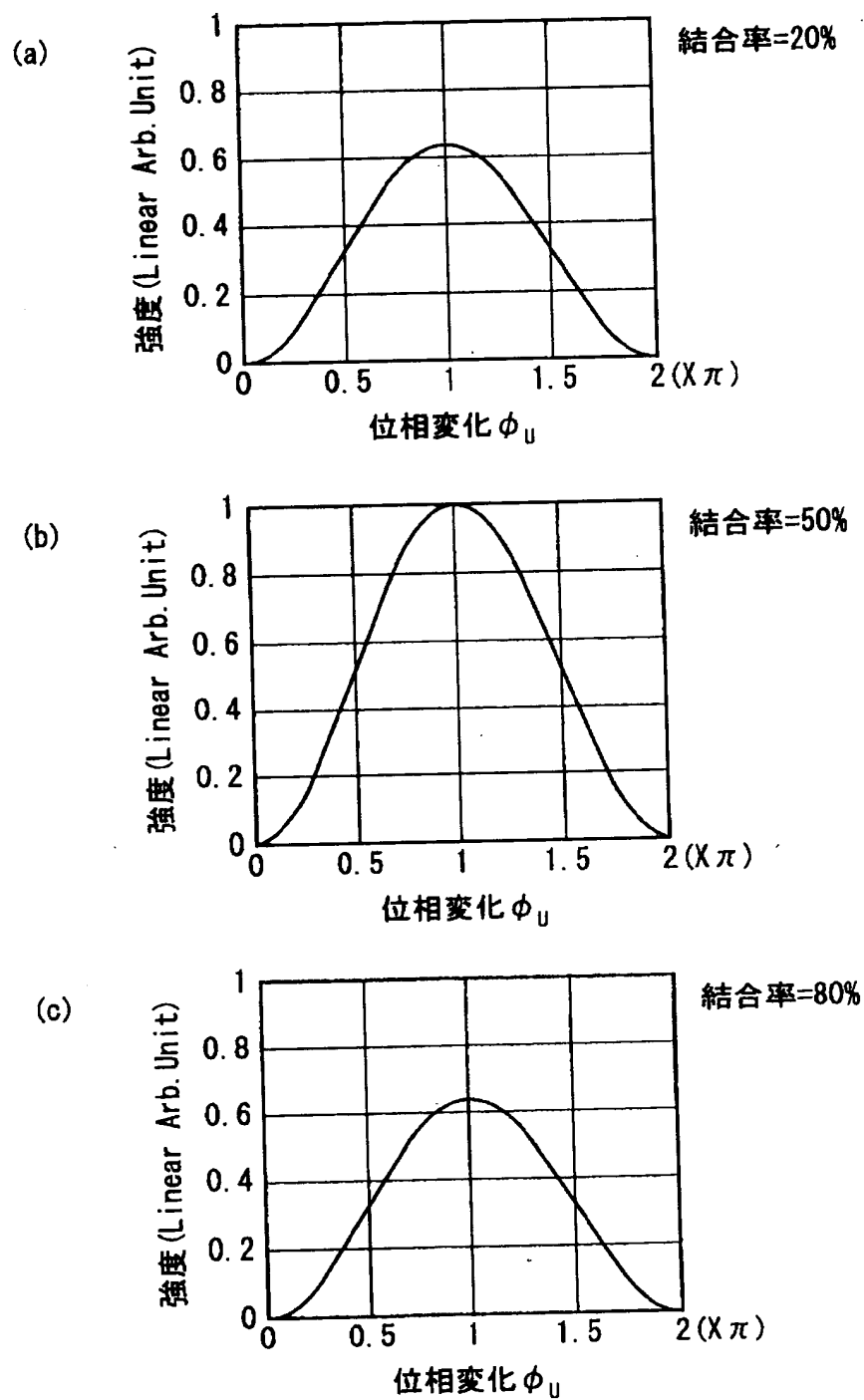
- 1, 2 方向性結合器
- 3, 4 位相制御手段
- 5, 6 低コヒーレンス光源
- 7, 8 波長可変光源
- 9, 10 接続用ポート
- 11 光路切り替え装置
- 12, 13 光導波路
- 14 被測定干渉計(対称マッハツェンダ型干渉計)

【図3】

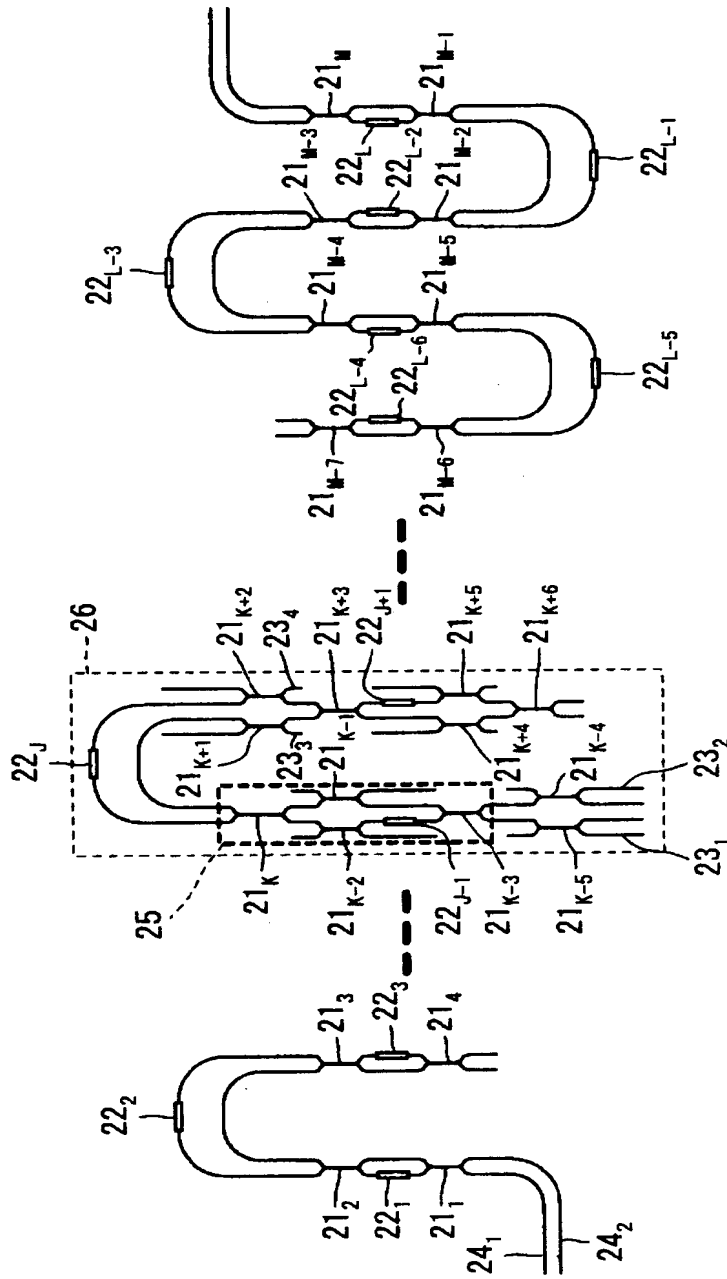


- 1₁~1_{2p+2} 方向性結合器
- 2₁~2_{2p+1} 位相制御手段
- 4₁~4₆ ポート
- 5 低コヒーレンス光源
- 6 波長可変光源
- 7₁, 7₂ 接続用ポート
- 8 光路切り替え装置
- 9₁, 9₂ 光導波路
- 11 被測定干渉計(非対称マッハツェンダ型干渉計)
- 12 干渉計(対称マッハツェンダ型干渉計)
- 13 干渉計(対称マッハツェンダ型干渉計)

【図4】

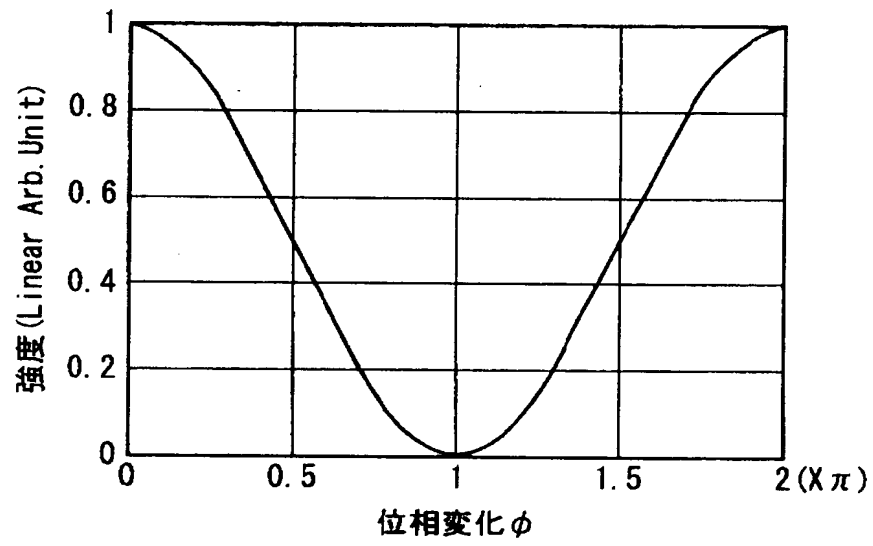


【図5】



- 21₁~21_M 方向性結合器
- 22₁~22_L 位相制御手段
- 23₁~23₄ モニタ用ポート
- 24₁, 24₂ 光導波路
- 25 被測定干渉計
- 26 モニタ用ポート付干渉部

【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 モニタ用ポートを設けることなく、多段マッハツェンダ型光回路の特性の簡便かつ正確な調整方法を提供する。

【解決手段】 任意の数の対称マッハツェンダ型干渉計と、任意の数の非対称マッハツェンダ型干渉計とからなる多段マッハツェンダ型光回路において、低コヒーレンス光を用いることで、非対称マッハツェンダ型干渉計の影響を受けることなく、各々の対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を求めることができ、これらの位相制御条件により対称マッハツェンダ型光回路を制御することで、各々の非対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を求めることができ、求めた対称マッハツェンダ型干渉計及び非対称マッハツェンダ型干渉計の位相制御条件を用いて、全ての干渉計において、適切な位相シフト量を設定でき、光回路の特性の調整を行なうことができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日	1999年 7月15日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名	日本電信電話株式会社